

**APPLICATION  
FOR  
UNITED STATES LETTERS PATENT**

**TITLE: NITRIDE SEMICONDUCTOR ELEMENT**

**INVENTOR: Shinya SONOBE**

## 明細書

### 発明の名称

#### 窒化物半導体素子

本件発明は好ましい実施の形態で説明されているが、当該技術に習熟する者による、本件発明の適用範囲および発明の精神に基づき、次に述べる請求項の範囲に含まれる実施の他の形態ならびに変形にも適用できる。日本出願2002年8月27日の(特願2002-246573)および優先権主張の基礎となる2003年8月27日出願の出願番号(特願2003-300714)の内容をここに援用記載する。

### 産業上の利用可能性

#### [0001]

本発明は、窒化物半導体( $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ 、 $0 \leq X$ 、 $0 \leq Y$ 、 $X+Y \leq 1$ )からなる素子に係わり、特に、p型窒化物半導体層に形成される電極に関する。

### 背景技術

#### [0002]

窒化物半導体は、発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)などの発光素子、太陽電池、光センサなどの受光素子、トランジスタ、パワーデバイスなどの電子デバイスに用いられている。特に、窒化物半導体を用いた発光ダイオードは、信号機、大型ディスプレイ、バックライト用光源などに幅広く利用されている。その他には、イメージスキャナー、光ディスク用光源等大容量の情報を記憶するDVD等のメディアや通信用の光源、印刷機器、照明用光源等に好適に利用できる。特に前記窒化物半導体は $\text{Al}_x\text{In}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ( $0 \leq x$ 、 $0 \leq y$ 、 $0 \leq x+y < 1$ )からなる。

#### [0003]

この窒化物半導体発光ダイオードは、基本的に、サファイアなどの絶縁基板の上にn型窒化物半導体層と、活性層と、p型窒化物半導体層とが順に積層された構成となる。また、基板の裏面に電極を形成することができないので、p型窒化物半導体層側から部分的にエッチングされて露出したn型窒化物半導体層にn電極が形成され、エッチングされずに残ったp型窒化物半導体層にp電極が形成される。つまり、半導体層が積層された同一面側にp電極とn電極とが配置された構成となる。このような構成によって得られる素子は、主として550nmより短波長の光を発光する。

#### [0004]

また、p型窒化物半導体層は、アニーリング、電子線照射などの方法によって低抵抗化されるが、n型窒化物半導体層と比較すると依然として高抵抗であり、p型窒化物半導体層において電流が拡散しにくいので、p型窒化物半導体層の全面にp電極が形成される。これにより、p型窒化物半導体層の全面に電流を拡散させて均一な発光分布を得ている。また、半導体層が積層された側を発光観測面とする場合は、p電極によって光が遮られるので、透光性を有する電極がp電極として用いられ、p電極を透過して外部に光が取り出される。ここで、ニッケル(Ni)と金(Au)とを含有する薄膜電極は、p型窒化物半導体層との良好なオーム接觸を有すると共に、透光性を有するので、p電極として好ましく用いられている。この先行技術としては、特開2000-299528号公報がある。

#### [0005]

しかしながら、金(Au)を含有する電極は、550nmより短波長の光を吸収する性質があるので、金を含有する電極をp電極として用いる場合は、p電極が透光性を有するが、p電極において大部分の光が吸収されてしまい、外部に光を十分に取り出すことができないといった問題があった。

#### [0006]

このような問題を解決できる可能性のある材料としてロジウム(Rh)をあげることができる。ロジウムは紫外～赤外領域で良好な反射率を持っていることが知られている。また、電気抵抗率が低く、耐熱性、耐食性に優れるなど発光素子

及び受光素子の電極として理想的な物性を有している。しかしながら、ロジウムは窒化物半導体に対する接触抵抗が大きく、発光素子等に使用するには接触抵抗を改善する必要があった。この先行技術としては、特開平11-274562号公報がある。

[0007]

本発明は、このような課題を解決するために成されたものであり、特に、p型窒化物半導体層に形成される電極における光の吸収を少なくして外部量子効率の良い窒化物半導体素子を提供することを目的とする。

発明の開示

[0008]

本発明の窒化物半導体素子は、少なくともp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、p型窒化物半導体層に、少なくともロジウムとイリジウムとを含有する電極が形成されていることを特徴とする。

[0009]

また、電極は、p型窒化物半導体層に接してロジウムが積層され、その上にイリジウムが積層された少なくとも2層構造を有することを特徴とする。

[0010]

前記2層構造におけるロジウムの膜厚は、10Å以上1000Å以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体素子。

[0011]

また、電極は、300°C以上においてアニーリングされていることを特徴とする。

以上説明したように、本発明によれば、p型窒化物半導体層に形成される電極が少なくともロジウムとイリジウムとを含有することにより、p型窒化物半導体層と良好なオーム接觸を有すると共に、高反射率を有するので、電極における光及び電力の損失を少なくして外部量子効率の良い窒化物半導体素子を提供することができる。

## 図面の簡単な説明

図1 TLM法を用いて測定した比接触抵抗（ $R_h$ を1としたときの比）である。

図2 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式断面図である。

図3 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す上面から見た平面図である。

図4 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す斜視図である。

図5 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式断面図である。

図6 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の電極構造を示す模式図である。

図7 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す斜視図である。

図8 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式断面図である。

図9 本発明の一実施形態に係る窒化物半導体素子の構造を示す模式図である。

## 発明を実施するための最良の形態

[0012]

### 実施形態1

以下、本発明の実施形態について詳細に説明する。

本発明の窒化物半導体素子は、少なくともp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、p型窒化物半導体層に、少なくともロジウム（ $R_h$ ）とイリジウム（Ir）とを含有する電極が形成されていることを特徴とする。本発明において、少なくともロジウムとイリジウムとを含有する電極とは、ロジウムとイリジウムとを含有する合金、あるいは層構造のことであり、電極とp型窒化物

半導体層とのオーミック接触、電極の反射率などに悪影響を及ぼさない範囲であれば、他の材料を含有することもできる。ロジウム、イリジウムのいずれか一方を含有する電極は、高反射率を有するものの、p型窒化物半導体層との十分なオーミック接触を得られないので、ロジウム、イリジウムの双方を組み合わせて用いる必要がある。このような構成によって得られる電極は、p型窒化物半導体層との良好なオーミック接触を得られると共に、高反射率を有するので、電極における光の吸収が少なくなり、外部量子効率の良い窒化物半導体素子を提供することができる。

#### [0013]

また、金を含有する電極は、550 nmより短波長の光を吸収する性質があり、電極の反射率を低下させるので、電極材料として含有しないことが好ましい。また、ニッケルを含有する電極は、p型窒化物半導体層との良好なオーミック接触を有するが、ロジウム、イリジウムに加えてニッケルを含有する電極は、p型窒化物半導体層との十分なオーミック接触が得られず、電極の反射率も低下させるので、電極材料として含有しないことが好ましい。同じ理由において、コバルト、チタンなども電極材料として含有しないことが好ましい。但し、Rh/Irで形成した電極の上にパット電極として形成する場合には特に限定されない。

#### [0014]

また、本発明において、電極は、p型窒化物半導体層に接してロジウムが積層され、その上にイリジウムが積層された少なくとも2層構造を有することが好ましい。この構成において、電極とp型窒化物半導体層との最も良好なオーミック接触が得られる。また、ロジウムの反射率がイリジウムよりも高いので、p型窒化物半導体層に接してロジウムを積層することにより、電極の反射率をより高くすることができる。

#### [0015]

ここで、ロジウムの膜厚としては、特に限定されないが、好ましくは10～1000オングストロームの範囲、さらに好ましくは100～500オングストロームの範囲に調整する。また、イリジウムの膜厚としては、特に限定されないが、好ましくは10～1000オングストロームの範囲、さらに好ましくは100

～500オングストロームの範囲、最も好ましくは300～500オングストロームの範囲に調整する。このような範囲に調整すると、電極とp型窒化物半導体層との良好なオーミック接触が得られると共に、電極の反射率が高くなるので好ましい。また、電極全体の膜厚は、p型窒化物半導体層上にロジウム／イリジウムの2層構造で形成する場合には500～1000オングストロームの範囲に調整することが好ましい。これよりも薄いと電極における光の吸収が大きくなる傾向があり、これよりも厚いと電極とp型窒化物半導体層とのオーミック接触が不十分になる傾向がある。この場合、p電極を透過させて光を取り出すことはできないが、基板側及び素子の端面側から光が取り出されるので、p電極における光の吸収を少なくする方が結果として光取りだし効率が向上する。さらにはデバイス工程上、半導体層と前記電極との界面で剥がれるおそれがある。

#### [0016]

その他には、前記p型窒化物半導体層の上に前記p電極を3層以上で形成する場合の電極全体の膜厚は、500～3000オングストローム、好ましくは800～2000オングストロームの範囲に調整することが好ましい。この電極構造は大電流の投入が可能である対向電極構造をした半導体素子において用いることができる。一例としては、p型窒化物半導体層／ロジウム／イリジウム／白金(Pt)とする。この白金の代替材料としては、他の白金族元素や高融点材料を用いることができる。前記高融点材料とは、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Mo、Wから選ばれる少なくとも1つである。ここで、半導体素子における光取り出し面はn型窒化物半導体層側とする。

#### [0017]

さらに、本発明において、電極は、300℃以上においてアニーリングされていることが好ましい。これにより、電極とp型窒化物半導体層との接触抵抗をさらに低くすることができ、オーミック接触がより良好になると共に、電極とp型窒化物半導体層との密着力が強くなる。アニーリングする雰囲気としては、特に限定されず、窒素、酸素、あるいはアルゴンなどの不活性ガス、その他には大気条件などを好適用いることができる。

#### [0018]

本発明の窒化物半導体素子において、p型窒化物半導体層以外の構成としては、特に限定されず、全部を窒化物半導体で構成することもでき、窒化物半導体以外の材料で構成することもできる。窒化物半導体としては、GaN、AlN、InN、あるいはこれらの混晶である  $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) からなる半導体を用いることができ、またこれに加えて、II族元素としてBを用いることもでき、V族元素としてNの一部をP、Asで置換することもできる。

#### [0019]

また、本発明において、p型窒化物半導体層とは、p型導電性を示す窒化物半導体層のことであり、不純物をドープしない（アンドープの）窒化物半導体層は、n型導電性を示すので、p型不純物をドープしてp型導電性を示すようになった窒化物半導体層がこれに含まれる。p型不純物としては、特に限定されないが、マグネシウム（Mg）、亜鉛（Zn）、カドミウム（Cd）などの2族元素を好適に用いることができる。特に、マグネシウムは、低抵抗のp型窒化物半導体層が得られ易いので好ましい。しかし、p型窒化物半導体層は、成長中に水素が取り込まれてp型不純物と結合し、p型不純物が不活性化され、n型窒化物半導体層と比較すると高抵抗であり、実質的に水素を含まない雰囲気においてアニーリングするなどの方法によってp型窒化物半導体層から水素を追い出し、さらに低抵抗化することが好ましい。また、電極を形成してからアニーリングする場合は、低抵抗化のためのアニーリングを兼ねることができる。

#### [0020]

また、p型窒化物半導体層の組成としては、特に限定されないが、好ましくは  $Al_z Ga_{1-z} N$  ( $0 \leq z \leq 1$ )、さらに好ましくはGaNである。 $Al_z Ga_{1-z} N$  ( $0 \leq z \leq 1$ ) は、結晶性よく形成でき、特に、GaNは、p型窒化物半導体のなかでも容易に低抵抗に形成できるため、電極とのオーム接觸が得られ易い。

#### [0021]

また、本発明において、電極の上にさらにパッド電極を形成することもできる。パッド電極の材料としては、特に限定されないが、パット電極の最上に金が積

層されていることが好ましい。これにより、ワイヤーボンディングにより形成されるボールなどとの優れた密着性が得られる。

#### [0022]

電極の形成方法としては、特に限定されないが、CVD、蒸着、スパッタリングなどを好適に用いることができる。また、フォトリソグラフィーを用いたエッチング、リフトオフなどにより所望の位置、形状に形成することもできる。p型窒化物半導体層は、n型窒化物半導体層と比較すると高抵抗であり、p型窒化物半導体層において電流が拡散しにくいので、電極は、p型窒化物半導体層の全面に形成することが好ましい。これにより、p型窒化物半導体層の全面に電流が拡散して、均一な発光分布が得られる。また、本発明において、電極の膜厚をあまり薄くできないので、電極を透過して水素が抜けにくいので、電極をドット状、ストライプ状、格子状に形成して開口部から水素が抜けるようにすることによって、p型窒化物半導体層が低抵抗化し易いので好ましい。また、開口部を透過して光が取り出されるので、さらに光取り出し効率が良くなる。

#### [0023]

本発明において、窒化物半導体の成長方法としては、特に限定されないが、MOVPE（有機金属気相成長法）、MOCVD（有機金属化学気相成長法）、HVPE（ハイドライド気相成長法）、MBE（分子線エピタキシー法）など、窒化物半導体の成長方法として知られている全ての方法を好適に用いることができる。特に、MOCVDは結晶性良く成長させることができるので好ましい。また、窒化物半導体は、種々の窒化物半導体の成長方法を使用目的により適宜選択して成長させることが好ましい。

#### [0024]

本発明の各構成、工程について詳細を以下に示す。基板1は、窒化物半導体をエピタキシャル成長させることができる基板であればよい。この基板としては、C面、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイアやスピネル（MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）のような絶縁性基板、また炭化珪素（6H、4H、3C）、シリコン、ZnS、ZnO、Si、GaAs、ダイヤモンド、及び窒化物半導体と格子接合するニオブ酸リチウム、ガリウム酸ネオジウム等の酸化物基板が挙げられる。また

、デバイス加工が出来る程度の厚膜（数十 $\mu$ m以上）であればGaNやAlN等の窒化物半導体基板を用いることもできる。前記基板はオフアングルしていてもよく、サファイアC面を用いる場合には、オフ角を0.01°～3.0°、好ましくは0.03°～0.5°の範囲とする。

#### [0025]

前記基板には、凹部及び／又は凸部を形成することができる。この凹部及び／又は凸部の外周の平面形状は多角形、円形であって、好ましくは円形、三角形、平行四辺形又は六角形とする。上記半導体素子に該基板を採用することで光取り出し効率が向上する。また前記平面形状で凹部や凸部を形成するとピット等が発生することを抑制できる。より好ましくは正三角形、菱形又は正六角形とする。また円形も好ましい。円形であればピットを大幅に抑制することができる。また、凹凸の平面形状は、幾何学的に完全な多角形である必要はなく、加工上の理由等から角が丸みを帯びていても良い。

#### [0026]

上記凹部の深さ又は凸部の段差は100Å以上、好ましくは1000～10000Åとする。少なくとも発光波長（例えば、AlGaN系の発光層の場合、206nm～632nm）を入としたとき、 $\lambda/4$ 以上の深さ又は段差がないと、十分に光を散乱又は回折することができない一方、凹部の深さ又は凸部の段差が上記範囲を越える寸法の場合には、電流が積層構造内の横方向に流れにくくなり、発光効率が低下するからである。また前記凸部を形成する傾斜面の傾斜角 $\theta$ は、好ましくは45°以上80°以下、より好ましくは50°以上70°以下とする。

#### [0027]

前記窒化物半導体は、一般式が $In_xAl_yGaN$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) であって、BやP、Asを混晶してもよい。また、n型の窒化物半導体層、及びp型の窒化物半導体層は単層、多層を適宜選択することができる。また、窒化物半導体層には各層の機能に応じてn型不純物、p型不純物を適宜含有させる。n型不純物としては、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等のIV族、若しくはV族元素を用いることができ、好ましくはSi、Ge、Snを

、最も好ましくはSiを用いる。また、p型不純物としては、Be、Zn、Mn、Cr、Mg、Caなどが挙げられ、好ましくはMgが用いられる。これにより、各導電型の窒化物半導体を形成することができる。前記窒化物半導体層には活性層を有し、該活性層は単一(SQW)又は多重量子井戸構造(MQW)とする。

#### [0028]

以下に窒化物半導体の構成を示す。前記基板の上に成長させる窒化物半導体はバッファ層2を介して成長する。バッファ層としては、一般式 $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 \leq a \leq 0.8$ ) で表される窒化物半導体、より好ましくは、 $Al_aGa_{1-a}N$  ( $0 \leq a \leq 0.5$ ) で示される窒化物半導体を用いる。バッファ層の膜厚は、好ましくは $0.002 \sim 0.5 \mu m$ 、より好ましくは $0.005 \sim 0.2 \mu m$ 、さらに好ましくは $0.01 \sim 0.02 \mu m$ である。バッファ層の成長温度は、好ましくは $200 \sim 900^\circ C$ 、より好ましくは $400 \sim 800^\circ C$ である。これにより、窒化物半導体層上の転位やピットを低減させることができる。さらに、前記基板上にELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 法により $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 層3を成長させてもよい。このELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 法とは窒化物半導体を横方向成長させることで貫通転位を曲げて収束させることにより転位を低減させるものである。本発明の半導体素子は、前記バッファ層とELO層を組み合わせることで高出力のレーザーダイオードを提供することができる。前記バッファ層は多層構成としてもよく、低温成長バッファ層と、その上に高温成長層を形成してもよい。高温成長層としては、アンドープのGaN又はn型不純物をドープしたGaNを用いることができる。高温成長層の膜厚は、 $1 \mu m$ 以上、より好ましくは $3 \mu m$ 以上である。また、高温成長層の成長温度は、 $900 \sim 1100^\circ C$ 、好ましくは $1050^\circ C$ 以上である。前記バッファ層2や $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) 層3は基板1によっては省略することができる。

#### [0029]

次に、n型窒化物半導体層を成長させる。まずn型コンタクト層4を成長させる。n型コンタクト層としては、活性層のバンドギャップエネルギーより大きく

なる組成であり、 $A1_j Ga_{1-j} N$  ( $0 \leq j < 0.3$ ) が好ましい。n型コンタクト層の膜厚は特に限定されるものではないが、好ましくは  $1 \mu m$  以上、より好ましくは  $3 \mu m$  以上である。次に、前記 n型コンタクト層上に第 1 の n型窒化物半導体層 5、第 2 の n型窒化物半導体層 6 を成長する。第 1 の n型窒化物半導体層 5 は  $A1_x Ga_{1-x} N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) から成る窒化物半導体を単層で形成する他には、前記単層をノンドープ層や n型不純物をドープした層、又はこれらの多層構造とする。次に第 2 の n型窒化物半導体層 6 は組成は特に限定しないが超格子層とすることが好ましい。n型不純物濃度は特に限定されるものではないが、好ましくは  $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{20} / cm^3$ 、より好ましくは  $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} / cm^3$  である。また、n型不純物濃度に傾斜をつけても良い。

### [0030]

本発明に用いる活性層 7 は、少なくとも、 $A1_a In_b Ga_{1-a-b} N$  ( $0 \leq a \leq 1, 0 \leq b \leq 1, a + b \leq 1$ ) から成る井戸層と、 $A1_c In_d Ga_{1-c-d} N$  ( $0 \leq c \leq 1, 0 \leq d \leq 1, c + d \leq 1$ ) から成る障壁層と、を含む量子井戸構造を有する。活性層に用いられる窒化物半導体は、ノンドープ、n型不純物ドープ、p型不純物ドープのいずれでも良いが、好ましくは、ノンドープもしくは、又は n型不純物ドープの窒化物半導体を用いることにより発光素子を高出力化することができる。さらに好ましくは、井戸層をアンドープとし、障壁層を n型不純物ドープとすることで、発光素子の出力と発光効率を高めることができる。また発光素子に用いる井戸層に A1 を含ませることで、従来の InGaN の井戸層では困難な波長域、具体的には、GaN のバンドギャップエネルギーである波長  $365 nm$  付近、もしくはそれより短い波長も得ることができる。

井戸層の膜厚は、好ましくは  $1 nm$  以上  $30 nm$  以下、より好ましくは  $2 nm$  以上  $20 nm$  以下、さらに好ましくは  $3.5 nm$  以上  $20 nm$  以下である。 $1 nm$  より小さいと井戸層として良好に機能せず、 $30 nm$  より大きいと InAlGaN の 4 元混晶の結晶性が低下するからである。また、 $2 nm$  以上では膜厚に大きなむらがなく比較的均一な膜質の層が得られ、 $20 nm$  以下では結晶欠陥の発生を抑制して結晶成長が可能となる。さらに膜厚を  $3.5 nm$  以上とすることで出力を向上させることができる。これは井戸層の膜厚を大きくすることで、大電

流で駆動させるLDのように多数のキャリア注入に対して、高い発光効率及び内部量子効率により発光再結合がなされるものであり、特に多重量子井戸構造において効果を有する。また、単一量子井戸構造では膜厚を5 nm以上とすることと上記と同様に出力を向上させる効果が得られる。また、井戸層の数は特に限定されないが、4以上の場合には井戸層の膜厚を10 nm以下として活性層の膜厚を低く抑えることが好ましい。活性層を構成する各層の膜厚が厚くなると、活性層全体の膜厚が厚くなりV<sub>f</sub>の上昇を招くからである。また、障壁層は、井戸層の場合と同様に、好ましくはp型不純物又はn型不純物がドープされているか又はアンドープであること、より好ましくはn型不純物がドープされているか又はアンドープであることである。例えば、障壁層中にn型不純物をドープする場合、その濃度は少なくとも $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上が必要である。例えば、LEDでは、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $2 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以下が好ましい。また、高出力のLEDやLDでは、 $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 以下、より好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下である。この場合、井戸層はn型不純物を実質的に含有しないか、あるいはアンドープで成長させることが好ましい。また、障壁層にn型不純物をドープする場合、活性層内のすべての障壁層にドープしても良く、あるいは、一部をドープとし一部をアンドープとすることもできる。ここで、一部の障壁層にn型不純物をドープする場合、活性層内でn型層側に配置された障壁層にドープすることが好ましい。

### [0031]

次に、前記活性層上にp型窒化物半導体層8を形成する。p型窒化物半導体層8としてはAl<sub>k</sub>Ga<sub>1-k</sub>N ( $0 \leq k < 1$ ) が用いられる。特にLD素子に用いる場合には、活性層のバンドギャップエネルギーより大きくなる組成であり、活性層へのキャリアの閉じ込めができるものであって、Al<sub>k</sub>Ga<sub>1-k</sub>N ( $0 < k < 0.4$ ) が好ましい。この膜厚は特に限定されないが、好ましくは0.01~0.3 μm、より好ましくは0.04~0.2 μmである。またp型不純物濃度は、 $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 、好ましくは $1 \times 10^{19} \sim 5 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。p型不純物濃度が上記の範囲にあると、結晶性を低下させることなくバルク抵抗を低下させることができる。前記p型半導体層は、単一層でも多層

膜層（超格子構造）でも良い。多層膜層の場合、上記の  $Al_kGa_{1-k}N$  と、それよりバンドギャップエネルギーの小さい窒化物半導体層とからなる多層膜層であれば良い。例えば  $p$  型半導体層を超格子構造とする場合には、 $Al_kGa_{1-k}N$  ( $0 < k < 0.4$ ) と  $In_1Ga_{1-1}N$  ( $0 \leq 1 < 0.2$ ) との超格子構造とすることで結晶性をよくすることができる。超格子構造を形成する各層の膜厚は、一層の膜厚が好ましくは  $100\text{ \AA}$  以下、より好ましくは  $70\text{ \AA}$  以下、さらに好ましくは  $10 \sim 40\text{ \AA}$  とすることができる。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の少なくともいずれか一方に  $p$  型不純物をドープさせても良い。また、バンドギャップエネルギーの大きい層及び小さい層の両方にドープする場合は、ドープ量は同一でも異なっても良い。

### [0032]

次に前記  $p$  型半導体層上に  $p$  型コンタクト層 9 を形成する。  $p$  型コンタクト層は、 $Al_fGa_{1-f}N$  ( $0 \leq f < 1$ ) が用いられ、特に、 $Al_fGa_{1-f}N$  ( $0 \leq f < 0.3$ ) で構成することによりオーミック電極である  $p$  電極と良好なオーミックコンタクトが可能となる。 $p$  型不純物濃度は  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$  以上が好ましい。より好ましくは  $p$  型不純物濃度は  $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  以上である。更に好ましくは  $p$  型不純物濃度は  $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$  以上である。また、 $p$  型コンタクト層は、導電性基板側で  $p$  型不純物濃度が高く、かつ、 $Al$  の混晶比が小さくなる組成勾配を有することが好ましい。この場合、組成勾配は、連続的に組成を変化させても、あるいは、不連続に段階的に組成を変化させても良い。例えば、 $p$  型コンタクト層を、オーミック電極と接し、 $p$  型不純物濃度が高く  $Al$  組成比の低い第 1 の  $p$  型コンタクト層と、 $p$  型不純物濃度が低く  $Al$  組成比の高い第 2 の  $p$  型コンタクト層とで構成することもできる。第 1 の  $p$  型コンタクト層により良好なオーミック接触が得られ、第 2 の  $p$  型コンタクト層により自己吸収を防止することが可能となる。

### [0033]

以上より窒化物半導体を基板上に成長させた後、ウェハーを反応装置から取り出し、その後、酸素及び／又は窒素を含む雰囲気中で  $400^\circ\text{C}$  以上で熱処理をする。これにより  $p$  型層に結合している水素が取り除かれ、 $p$  型の伝導性を示す  $p$

型の窒化物半導体層を形成する。

[0034]

その後、前記p型コンタクト層の表面にオーミック接触が得られるp電極10を形成する。p電極の形成方法はCVD法、スパッタ法、蒸着法等がある。

[0035]

p電極は矩形状や縞状、正方形、格子状等がある。その他のp電極は、p型半導体層の全面に形成したもの(図4)、ドット状に空洞を有するもの、菱形、平行四辺形、メッシュ形状(図6A)、ストライプ形状、くし形、1つから複数に分岐した枝状(図6B)、電気的に繋がった複数の枝電極をストライプ形状に有しており、且つ該p電極には空洞を有する形状(図6C)、円形状等にパターン形成する。これらのp電極構造は上記基板との組み合わせによって、光の取り出し効率をさらに向上することができる。上記p電極、又はn電極の上には保護膜31を形成してもよい。

[0036]

複数の開口部は、各開口部がほぼ同じ形状であることが好ましく、これにより、開口部の形成が容易であるとともに、発光の面内分布が均一となる。また、複数の開口部は、ほぼ同じ面積であることが好ましく、これによっても発光の面内分布が均一となる。

[0037]

また前記n型コンタクト層の表面にはn電極12を形成する。n電極にはW/A1、Ti/A1、Ti/A1/Ni/Au、W/A1/W/Pt/Au、A1/Pt/Auなどを用いる。n電極の膜厚は0.1~1.5μmとする。n電極については、ボンディング用のパット電極と、n側層とオーミック接触するオーミック用の電極とをほぼ同一の形状として同時に形成してもよい。また、オーミック電極をnパット電極兼用としても良い。

[0038]

前記p電極10は、p型窒化物半導体層の表面で該p型層とオーミック接触して素子内部に電流を注入するためのオーミック電極である。通常、窒化物半導体素子では、このオーミック用のp電極とは別に、例えば、ワイヤーボンディング

により接続するポンティング用のpパット電極11を形成して、そのpパット電極をオーミック電極であるp電極と電気的に接続する。このpパット電極は、p側層の上に設ける形でも良く、メタル配線してp側層の外部、例えばn側電極形成面に絶縁膜を介して設けることもできる。pパット電極をp側層の上に形成する場合には、pパット電極をp電極の一部が重なるように形成してもよいし、p電極の上にpパット電極を形成してもよい。pパット電極はワイヤ等と実装するための電極であるので、実装時に半導体素子を傷めない程度の膜厚があれば特に限定されない。pパット電極の形成面側から光を取り出す場合には、pパット電極はできるだけ小さく形成することが必要である。

#### [0039]

pパット電極11の材料は、密着性が高いものを選択する。具体的な材料としては、例えばCo、Fe、Rh、Ru、Ti、V、Cr、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、W、Re、Mn、Al、Zn、Pt、Au、Ru、Pd、Rhを用いることができる。好ましくは、Ag、Al、Pt、Cu、Ni、Ti、Au、W、Nb、Mo、Hf、Rhからなる群から選ばれる少なくとも1種及びこれらの酸化物、窒化物等を用いることであり、更に好ましくはAg、Al、Ptからなる群から選ばれる少なくとも1種を用いる。pパット電極は単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。また、これらの材料はpパット電極のみならずnパット電極にも用いることができる。

#### [0040]

電極を窒化物半導体層の表面に形成した後、熱処理を行うことで、合金化されると共に、半導体層と良好なオーミック接触を得ることができ、また半導体層と電極との接触抵抗を低下させることができる。熱処理温度としては、300℃～1200℃の範囲が好ましく、更に300℃～900℃が好ましく、特に好ましくは400℃～650℃の範囲である。上記以外の熱処理の条件としては、雰囲気ガスを酸素、及び／又は窒素を含有する雰囲気とする。また不活性ガス、例えばアルゴンを含有する雰囲気や大気条件での熱処理も可能である。

#### [0041]

本発明の半導体素子は、窒化物半導体層が積層された素子の側面に連続してS

$\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、または $\text{V}$ 、 $\text{Zr}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Hf}$ 、 $\text{Ta}$ よりなる群から選択された少なくとも一種の元素を含む酸化物、 $\text{SiN}$ 、 $\text{BN}$ 、 $\text{SiC}$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{AlGaN}$ 等の保護膜13を形成してもよい。この保護膜は絶縁性を有する膜であることが好ましく、信頼性の高い半導体素子が得られる。とくに、この絶縁性を有する保護膜はp型層の表面の電極非形成部に設けることで、電極の腐食を効果的に抑えることができる。前記窒化物半導体素子をスクライプ、ダイシングなどでチップ状の半導体素子となる（図2）。この窒化物半導体素子の平面図は図3に示すようにp型窒化物半導体層の上のはば全面にp電極10が形成されている。該窒化物半導体素子の斜視図を図4に示す。前記p電極をRh/Irで形成した半導体素子は、 $V_f$ を3、4以下にすることができ、Ni/AuやRh等の電極と比較して接触抵抗比を1/10以下とすることができる。

#### [0042]

#### 実施形態2

実施形態1は窒化物半導体層の電極形成面を光取り出し面としたが、実施形態2では基板側を光取り出し面とすることもできる（図5）。窒化物半導体素子の電極を形成した面を除いて保護膜13を形成しており、パッド電極11の上に、ワイヤーではなく、外部電極等と接続させるためのメタライズ層（パンプ）14を形成させたフェイスダウン構造とする。メタライズ層14は実装基板23に装備されているリード電極22と電気的に接觸している。前記窒化物半導体素子を1mm<sup>2</sup>以上のサイズで作製するには図7に示すようにpパッド電極11およびn電極12を複数の位置に形成する。このpパッド電極11とn電極12はメタライズ層14を形成する領域が部分的に広く形成されている。またpパッド電極11とn電極12とのメタライズ層14を形成する領域は対向している。更にpパッド電極及び/又はn電極は、それぞれが対向する側面方向に枝状に延びて形成されている（図6C、図7）。以上より1mm<sup>2</sup>以上のサイズで形成した窒化物半導体素子においても大電流を全面に均一に流すことができる。図7に示す窒化物半導体素子をフェイスダウン実装したものを図8に示す。基板側を光取り出し面とすることで光取り出し効率が向上する。例えばパッド電極を楕円形状で形成する。このメタライズ層としては、Ag、Au、Sn、In、Bi、Cu、Zn

等の材料から成る。フェイスダウンで用いる場合、パッド電極に熱が加わるが、その際に、体積が大きくなり、また、圧力が加わることでパッド電極材料が側面方向に流出しやすくなる。しかしながら、本実施形態の窒化物半導体発光素子では、前記電極を用いることで合金化するために不具合は抑制することができる。また本実施形態の構造であれば、放熱性がよく信頼性が向上する。

#### [0043]

#### 実施形態3

本実施形態における窒化物半導体素子は、支持基板上に導電層、p電極を介してp型窒化物半導体層、活性層、n型窒化物半導体層を有し、その上にn電極を形成した構成である。該窒化物半導体素子はp電極とn電極が窒化物半導体層を挟んで向かい合う対向電極構造となる（図9）。

#### [0044]

前記窒化物半導体素子は、n電極側が光取り出し面となる。窒化物半導体（特にGaN系半導体）はn型層の抵抗が低いため、n電極のサイズを小さくできる。光の取り出し効率の向上はn電極を小さくすることで光を遮る領域を低減できるからである。

#### [0045]

以下に本実施形態に係る窒化物半導体素子の製造工程を図面を用いて示す。

まず基板1上に少なくともn型窒化物半導体層、活性層、p型窒化物半導体層を有する窒化物半導体20を成長させる。その後、p型窒化物半導体層上に前記p電極10を形成する。p電極を矩形状や縞状、正方形、格子状、ドット状、菱形、平行四辺形、メッシュ形状、ストライプ形状、網目状、格子状の1つから複数に分岐した枝状等にパターン形成することで光の取り出し効率を上げることができる。好ましくは中央部には格子状、その外周を2つのL字で囲む形状とする。これによって大電流の投入が可能となる。

#### [0046]

次に、前記p電極の開口部であって、前記窒化物半導体の露出部に第1の保護膜103を形成する。次に前記p電極、及び第1の保護膜の形成面の上に貼導電層102を形成する。この導電層の形成面で支持基板を貼り合わせる。導電層は

密着層、バリア層、共晶層から成る3層構造が好ましい。他方、支持基板101を用意する。この支持基板の表面にも導電層102を形成することが好ましい。

#### [0047]

前記導電層をPt、Au、Sn、Pd、In、Ti、Ni、W、Mo、Au-Sn、Sn-Pd、In-Pd、Ti-Pt-Au、Ti-Pt-Sn、Ti-Pt-Pd又はTi-Pt-AuSn、Ti-Pt-AuSn-Au、W-Pt-Sn、RhO-Pt-Sn、RhO-Pt-Au、RhO-Pt-(Au、Sn)等で形成する。複数層の導電層においては、p電極側から形成している。この導電層は低温で共晶が可能で、共晶後の融点が上がるためp電極への拡散は抑制することができる。また、上記導電層によって支持基板側に発生した熱を効率よく逃がすことができる。

#### [0048]

前記窒化物半導体素子に貼り合わせる支持基板101は、線熱膨張係数が4～10( $\times 10^{-6}/K$ )であって、好ましくは前記支持基板はCu、Mo、Wから成る群から選ばれる少なくとも1つを含有している。前記支持基板にCuを含有する場合には50%以下とする。Moを含有する場合には、その含有量は50%以上とする。前記支持基板にWを含有する場合には含有量は70%以上である。支持基板の具体例は、Cu-W、Cu-Mo、AlSiC、AlN、Si、SiC、Cu-ダイヤ等の金属とセラミックの複合体などである。また、一般式を $Cu_xW_{1-x}$ ( $0 \leq x \leq 30$ )や $Cu_xMo_{1-x}$ ( $0 \leq x \leq 50$ )のように示すことができる。AlNを支持基板とすれば絶縁性基板であるのでプリント基板などの回路上にチップを載せるときに有利である。またSiを用いる利点は安価でチップ化がしやすい点である。支持基板の好ましい膜厚としては50～500 $\mu m$ である。前記範囲に支持基板を薄くすることで放熱性が良くなる。

#### [0049]

その後、窒化物半導体素子と支持基板とを加熱圧接により貼り合わせる。貼り合わせ面を導電層同士として合金化させる。具体的にはプレスをしながら150℃以上の熱を加える。前記貼り合わせ工程は加熱圧接によって行われることを特徴とする。加熱圧接の温度は150℃～350℃が好ましい。150℃以上とす

れば、導電層の金属の拡散が促進され均一な密度分布の共晶が形成され、窒化物半導体素子と支持基板との密着性を向上させることができる。350℃より大きいと、拡散範囲が接着領域にまで及び、密着性が低下してしまう。貼り合わせ時にはp電極/Ti-Pt-AuSn-Pt-Ti/支持基板、その他にはp電極/RhO-Pt-AuSn-Pt-Ti/支持基板、p電極/Ti-Pt-AuSn-Au/支持基板、p電極/Ti-Pt-PdSn-Pt-Ti/支持基板、p電極/Ti-Pt-AuSn-Pt-RhO/支持基板となる。これにより剥がれにくい合金が形成される。導電層を共晶とすることで低温での貼り合わせが可能となり、また接着力も強力になる。上記温度で貼り合わせることで反りの緩和効果を有する。

#### [0050]

その後、基板1を除去する。基板の除去方法としては基板側からエキシマレーザを照射するか、又は研磨、研削、ケミカルポリッシュ等によって行う。上記工程により、鏡面である窒化物半導体の露出面を形成する。

#### [0051]

その後、窒化物半導体素子をチップ化するためRIE等で外周エッチングを行い、外周の窒化物半導体層を除去する。その後、窒化物半導体層をチップ状に分割するために、チップ間に溝を形成し、n型窒化物半導体層の露出面にn電極1-2を形成する。n電極には前述した電極の他にTi-Al-Ni-Au、W-Al-W-Pt-Au、Al-Pt-Auなどがある。n電極は膜厚を0.1~1.5μmとする。ここで、n電極を形成した以外のn型窒化物半導体層の露出面には凹凸を形成してもよい。前記凹凸形成の断面形状はメサ型、逆メサ型があり、平面形状は丸形状、または六角形状や三角形状、島状形状、格子状、矩形状、円状、多角形状がある。凹部の深さは0.2~3μmであって、より好ましくは1.0μm~1.5μmである。この理由は凹部深さが0.2μmより浅すぎると光取り出し向上的効果はなく、上記範囲より深くなると横方向の抵抗が上がってしまう。さらに、凹部の形状を丸状や多角形状として抜き取った場合には低抵抗値を維持して出力を向上させることができる。

#### [0052]

その後、ワイヤーボンディング領域を除いて窒化物半導体素子の上面を第2の保護膜110で覆い、ダイシングによりチップ化することで窒化物半導体素子とする(図9A)。この図9Aに示す窒化物半導体素子の断面図を図9Cに示す。また、前記第2の保護膜に凹凸形状を形成してもよい(図9B)。これにより光取り出し効率が向上する。該第2の保護膜110はSiO<sub>2</sub>、SiN、Si<sub>x</sub>O<sub>y</sub>、N<sub>1-x-y</sub>、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、ZrO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>などの絶縁膜である。

#### [0053]

#### 実施形態4

前記実施形態において、チップ化した窒化物半導体素子の表面に蛍光体を樹脂と混合させて形成することで、高出力の白色発光素子を得ることができる。

#### [0054]

前記蛍光体の一例を以下に示す。緑色系発光蛍光体としては、SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> : Eu、Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> : Ce、Tb、MgAl<sub>11</sub>O<sub>19</sub> : Ce、Tb、Sr<sub>7</sub>Al<sub>12</sub>O<sub>25</sub> : Eu、(Mg、Ca、Sr、Baのうち少なくとも1以上)Ga<sub>2</sub>S<sub>4</sub> : Euがある。また、青色系発光蛍光体としてはSr<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl : Eu、(SrCaBa)<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl : Eu、(BaCa)<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl : Eu、(Mg、Ca、Sr、Baのうち少なくとも1以上)ZnB<sub>5</sub>O<sub>9</sub>Cl : Eu、Mn、(Mg、Ca、Sr、Baのうち少なくとも1以上)(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub> : Eu、Mnがある。さらに、赤色系発光蛍光体としてはY<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S : Eu、La<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S : Eu、Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : Eu、Gd<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S : Euがある。特にYAGを含有させることで、白色光を発光することができ、照明用光源など用途も格段に広がる。YAGは、(Y<sub>1-x</sub>Gd<sub>x</sub>)<sub>3</sub>(Al<sub>1-y</sub>Ga<sub>y</sub>)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> : R (Rは、Ce、Tb、Pr、Sm、Eu、Dy、Hoから選ばれる少なくとも1以上である。0 < R < 0.5である。)、例えば、(Y<sub>0.8</sub>Gd<sub>0.2</sub>)<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> : Ce、Y<sub>3</sub>(Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> : Ceである。

本実施の形態において、赤味を帯びた光を発光する蛍光体として、特に窒化物系蛍光体を使用するが、本発明においては、上述したYAG系蛍光体と赤色系の光を発光可能な蛍光体とを備える発光装置とすることも可能である。このような

赤色系の光を発光可能な蛍光体は、波長が400～600nmの光によって励起されて発光する蛍光体であり、例えば、 $Y_2O_3:S:Eu$ 、 $La_2O_3:S:Eu$ 、 $CaS:Eu$ 、 $SrS:Eu$ 、 $ZnS:Mn$ 、 $ZnCdS:Ag, Al$ 、 $ZnCdS:Cu, Al$ 等が挙げられる。このようにYAG系蛍光体とともに赤色系の光を発光可能な蛍光体を使用することにより発光装置の演色性を向上させることが可能である。

以上のような蛍光体を選択することで、種々の発光波長を持った光取り出し効率の高い発光素子を得ることができる。

[0055]

[実施例1]

以下、図1に示す発光ダイオード素子を元に実施例1について説明する。

なお、本発明はこれに限定されるものではなく、p型窒化物半導体層に電極を形成する全ての窒化物半導体素子（レーザダイオード、太陽電池、光センサ、トランジスタ、パワーデバイスなど）に適用することができる。

[0056]

まず、サファイア（C面）からなる基板1をMOCVDの反応容器内にセットし、容器内を水素で十分に置換した後、水素を流しながら基板の温度を1050℃まで上昇させ基板のクリーニングを行う。なお、本実施例ではサファイア（C面）を用いているが、基板としては、GaN、AlN、AlGaNなどの窒化物半導体基板、あるいは窒化物半導体とは異なる異種基板を用いることができる。異種基板としては、例えばC面、R面、A面のいずれかを正面とするサファイア、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）などの絶縁基板、あるいはSiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、ZnSなどの半導体基板、ZrB<sub>2</sub>などの金属結晶を用いることができ、好ましくはサファイア、スピネルを用いる。また、異種基板はオフアングルしていてもよく、特に、ステップ状にオフアングルしたものを用いると、窒化物半導体からなる下地層が結晶性よく成長されるので好ましい。

[0057]

続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにTMG（トリメチルガリウム）とアンモニアとを用い、基板1の上にGaNからなるバッファ層（図示せず）を約100オングストロームの膜厚で成長させる。なお、このバッファ層は、基板の種類、成長方法によっては省略できる。また、このバッファ層は、Alの割合の小さいAlGaNを用いることもできる。

#### [0058]

次に、バッファ層を成長後、TMGのみを止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層2を1μmの膜厚で成長させる。

#### [0059]

続いて、1050℃で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、Siを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNからなるn側コンタクト層3を5μmの膜厚で成長させる。なお、本実施例ではSiを用いているが、n型不純物としては、特に限定されないが、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、ZrなどのIV族元素、あるいはVI族元素などを好適に用いることができ、好ましくはSi、Ge、Sn、さらに好ましくはSiを用いる。

#### [0060]

次に、シランガスのみを止め、1050℃で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNからなる下層を3000オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、同温度で、シランガスを追加して、Siを $4.5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNからなる中間層を300オングストロームの膜厚で成長させ、更に続いて、シランガスのみを止め、同温度で、アンドープGaNからなる上層を50オングストロームの膜厚で成長させ、3層からなるn側第1多層膜層4を3350オングストロームの膜厚で成長させる。

#### [0061]

次に、同温度で、アンドープGaNからなる窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、次に、温度を800℃にして、TMG、TMI（トリメチルインジウム）、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nからなる窒化物半導体層を20オングストロームの膜厚で成長させる。これらの操

作を繰り返し行い、交互に10層ずつ積層し、さらにアンドープGaNからなる窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造のn側第2多層膜層5を640オングストロームの膜厚で成長させる。

#### [0062]

次に、TMG、アンモニアを用い、アンドープGaNからなる障壁層を250オングストロームの膜厚で成長させる。続いて、同温度で、TMIを追加して、In<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nからなる井戸層を30オングストロームの膜厚で成長させる。これらの操作を繰り返し行い、交互に6層ずつ積層し、さらにアンドープGaNからなる障壁を250オングストロームの膜厚で成長させた多重量子井戸構造の活性層6を1930オングストロームの膜厚で成長させる。

#### [0063]

次に、1050°Cで、TMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mg（シクロペンタンジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させ、続いて、温度を800°Cにして、TMG、TMI、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nからなる窒化物半導体層を25オングストロームの膜厚で成長させる。これらの操作を繰り返し行い、交互に5層ずつ積層し、さらにMgを $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nからなる窒化物半導体層を40オングストロームの膜厚で成長させた超格子構造のp側多層膜層7を365Åの膜厚で成長させる。

#### [0064]

続いて、1050°Cで、TMG、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNからなるp側コンタクト層8を1200オングストロームの膜厚で成長させる。反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウエハを反応容器内において、600°Cでアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

#### [0065]

アニーリング後、ウエハを反応容器から取り出し、p側コンタクト層側からエ

ッチングを行い、露出したn側コンタクト層にWを100オングストロームの膜厚で積層し、その上にAlを1000オングストロームの膜厚で積層してW/Alからなるn電極を形成する。

#### [0066]

次に、エッチングされずに残ったp型コンタクト層の全面にロジウム(Rh)を400オングストロームの膜厚で積層し、その上にイリジウム(Ir)を500オングストロームの膜厚で積層してRh/Irからなるp電極を形成する。電極形成後、窒素雰囲気において600°Cでアニーリングを行う。

#### [0067]

最後に、ウエハを分割して1辺の長さが350μmの発光ダイオード素子を得た。得られた素子は、If(順方向電流)20mAにおいて、Vf(順方向電圧)3.5Vであり、p型窒化物半導体層と電極との良好なオーム接觸が得られた。

#### [0068]

このときのp型窒化物半導体層とRh/Irとの比接觸抵抗をTLM法を用いて測定し、p型窒化物半導体上にRh、Rh/Pt、Rh/Ru、Rh/Au、からなるp電極を形成した場合と比較したところ図1のようになった。p型窒化物半導体層と接觸する電極としてRhのみを用いたものを1として比で表示した。第1層をRh、第2層をIrとしたものに比接觸抵抗の低下が確認できる。他に第1層をRh、第2層をAuとしたものも接觸抵抗が低減しているが、RhはAuと合金化し短波長の光に対して吸収が大きくなるので、窒化物半導体系のLEDに用いるのは好ましくない。

#### [0069]

#### [実施例2]

実施例1において、図6Aに示すようにp電極10に開口部を形成する他は、同様にして発光ダイオード素子を得た。得られた素子は、If 20mAにおいて、Vf 3.5Vであり、p型窒化物半導体層と電極との良好なオーム接觸が得られた。発光出力は、電極の開口部を介して外部に光が取り出されるので実施例1と比較すると約20%増加していた。

[0070]

[比較例1]

実施例1において、p電極10として、NiとAuとを200オングストロームの膜厚で積層する他は、同様にして発光ダイオード素子を得た。得られた素子は、p電極10が透光性を有している。発光出力は、電極における光の吸収により実施例1と比較すると約20%減少していた。

[0071]

[比較例2]

実施例1において、p電極10として、NiとPtとを200オングストロームの膜厚で積層する他は、同様にして発光ダイオード素子を得た。得られた素子は、p電極10が透光性を有している。発光出力は、電極における光の吸収により実施例1と比較すると約20%減少していた。

[0072]

[比較例3]

実施例1において、p電極10として、Rhのみを400オングストロームの膜厚で積層する他は、同様にして発光ダイオード素子を得た。得られた素子は、p電極10が透光性を有している。発光出力は、電極における光の吸収により実施例1と比較すると同等であったが、Vfが約0.1V上昇した。

## 特許請求の範囲

1. 少なくともp型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、前記p型窒化物半導体層に、少なくともロジウムとイリジウムとを含有する電極が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。
2. 前記電極は、p型窒化物半導体層に接してロジウムが積層され、その上にイリジウムが積層された少なくとも2層構造を有することを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。
3. 前記2層構造におけるロジウムの膜厚は、10Å以上1000Å以下であることを特徴とする請求項2に記載の窒化物半導体素子。
4. 前記電極は、300℃以上においてアニーリングされていることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体素子。

## 要約書

p型窒化物半導体層を有する窒化物半導体素子において、p型窒化物半導体層に、少なくともロジウムとイリジウムとを含有する電極を形成することにより、電極とp型窒化物半導体層との良好なオーム接觸が得られると共に、電極が高反射率を有するので、電極における光の吸収が少なくなり、外部量子効率の良い窒化物半導体素子が得られる。